

Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento

Analysis of the generation of gray water in homes and evaluation of treatment systems

Lía Gómez¹, Melvin Moreno¹, Markelys Vargas¹, Maritza Cedeño^{1*}

¹Centro Regional de Azuero, Grupo de Investigación Empresarial, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Las aguas grises son efluentes residuales que proceden de las actividades domésticas, estas aguas se suelen descargar en casi todos los hogares sin conocer que su eliminación causa un impacto directo al ambiente. El objetivo de esta investigación es analizar la generación de aguas grises dentro de los hogares y evaluar distintos tipos de sistemas de tratamiento, además, definir alternativas económicas para su reutilización. La metodología contempló la estimación de la generación de aguas grises en la lavadora; baño/ducha; lavamanos (cepillado de dientes, lavado de cara, lavado de manos y afeitado de rostro); suponiendo un hogar de tres personas en promedio, utilizando las referencias consultadas. Para el proceso de fregado se procedió a estimar el tiempo promedio para un nivel de confianza de 95%, utilizando Z como estimador. Se procedió a realizar una estimación de la generación de aguas grises en un sector geográfico específico del Distrito de Chitré, Herrera. Los resultados muestran una generación promedio de aguas grises de 1 033.37 l/día para un hogar de tres personas en promedio con un valor de 7 669.20 \$/año para el sector geográfico analizado. Se evaluaron tres alternativas de reutilización de aguas grises con el fin de contribuir a fortalecer hábitos de ahorro del recurso hídrica ya sea para un hogar individual o para una comunidad.

Palabras clave Aguas grises, agua potable, consumo, reutilización.

Abstract Graywater is a wastewater effluent from domestic activities, which is usually wasted in almost all households without knowing that its disposal causes a direct impact on the environment. The objective of this research is to analyze the generation of graywater in households and to evaluate different types of treatment systems, as well as to define economic alternatives for its reuse. The methodology contemplated the estimation of gray water generation in the washing machine; bath/shower; sink/toothbrushing/face washing/handwashing/face shaving; assuming an average three-person household, using the references consulted. For the scrubbing process, we proceeded to estimate the average time for a confidence level of 95%, using Z as an estimator. An estimate of graywater generation in a specific geographic sector of the District of Chitré, Herrera, was made. The results show an average graywater generation of 1,033.37 l/day for an average household of three people with a value of \$7,669.20/year for the geographical sector analyzed. Three graywater reuse alternatives were evaluated to contribute to strengthening water-saving habits either for an individual household or for a community.

Keywords Grey waters, drinking water, consumption, reuse.

* Corresponding author: maritza.cedeno@utp.ac.pa

1. Introducción

Debido al aumento de la población y al cambio climático, se requiere una gestión adecuada de los recursos hídricos, que no solo se ve afectado por la degradación ambiental, sino también por el uso inadecuado de las aguas en las actividades diarias de una población. Relacionado a este aspecto, en Panamá una persona en promedio consume de 160 a 200 litros de agua por día, cuando lo razonable sería consumir 80 litros por persona según Villarreal, 2020 [1].

Haciendo referencia a la utilización del agua, esta se puede clasificar en: aguas residuales, aguas blancas, aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas, agua grises o residuales domésticas [2]. Las aguas grises que proceden de las actividades domésticas, como: el proceso de lavado de fregaderos, lavamanos, duchas y lavadoras, son aguas con bajo contenido de contaminantes y pocos productos orgánicos, es decir, no son para el consumo humano, pero después de sufrir una regeneración, se pueden reutilizar en diferentes actividades que no requieran de un proceso de potabilización [3]. Las

aguas grises representan alrededor de 50 a 80 % de las aguas residuales de un hogar [4] y su reutilización permite la reducción de aproximadamente, 40% del consumo de agua potable [5].

Con el análisis de las aguas grises provenientes de los hogares se pretende demostrar la necesidad de emplear un sistema de tratamiento que permita reutilizarlas para enfocarse en la aplicación de la eficiencia ecológica y las buenas prácticas de reutilización y filtrado.

El objetivo de esta investigación es analizar la generación de agua grises dentro de los hogares y evaluar distintos tipos de sistemas de tratamiento y, además, definir alternativas económicas.

2. Materiales y métodos

Esta investigación es de tipo Descriptiva – Explicativa, siendo de tipo cuantitativo, por lo que trata de explicar mecanismos de reutilización de las aguas grises en actividades del hogar y otras aplicaciones.

2.1 Equipos y herramientas

Se utilizaron cronómetros digitales de los celulares de colaboradores de esta investigación en cada uno de los hogares donde se midió el gasto de agua en el proceso de fregado. Además, la utilización de la herramienta Google Earth para el conteo de residencias.

2.2 Metodología

La metodología utilizada ha consistido en la revisión de diversos artículos relacionados con el tema y otras referencias bibliográficas y en línea. Luego se procedió de la siguiente forma:

Para la identificación del gasto de agua Se supone un hogar promedio de 3 personas. Se calcula el gasto para los siguientes lugares en un hogar: Baño (ducha), lavamanos (cepillarse los dientes, lavarse las manos, lavarse la cara y afeitarse la cara), fregador y lavadora. En la tabla 1 se puede observar el consumo de agua para estos lugares según el Banco Interamericano de Desarrollo, 2015 [6].

Tabla 1. Consumo de agua en un hogar

Descripción	Consumo
Baño (ducha) (10 min)	9 litros/minuto
Lavamanos	
Cepillarse los dientes	4 litros/cepillado
Lavado de manos	4 litros/lavado
Lavado de cara	4 litros/lavado
Afeitarse la cara	4 litros/afeitada
Lavadora (7 kg/carga)	95 litros/carga
Fregador	15 litros/minuto

Fuente: Típico consumo de agua en un hogar, Banco Interamericano de Desarrollo, 2015 [6].

La tabla 1 utilizada como referencia para los cálculos, no muestra, al igual que otras revisiones realizadas, el tiempo de fregado por lo que, se procede a realizar su estimación mediante una toma de muestra de tiempos de fregado, de la siguiente forma: Se escogieron 3 hogares para participar en la medición. Se calculó un tamaño de muestra 'n', número de mediciones a tomar. Se realiza primero un muestreo preliminar. Uno de los hogares participó en el muestreo preliminar con cinco mediciones del tiempo de fregado: 7.15, 6.48, 9.41, 6.12 y 8.35 minutos. Con estas mediciones se realizó una estimación puntual de la varianza: $\hat{S}_{n-1}^2 = 1.85947$, utilizando la relación (1) para varianza insesgada [7].

$$\hat{S}_{n-1}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \tag{1}$$

Este valor \hat{S}_{n-1}^2 puede considerarse una estimación de, σ^2 varianza de la población, siempre y cuando garanticemos que en la relación (2) [7], para el cálculo del tamaño de muestra 'n', sea grande, o sea $n \geq 30$.

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2}^2) \sigma^2}{\varepsilon^2} \tag{2}$$

En la relación (2), $Z_{\alpha/2}$, representa el valor de Z que corta ambas colas de una distribución normal (suposición que se deduce del Teorema del Límite Central [8], para muestras grandes, o sea $n \geq 30$). $Z = 1.96$ para una estimación de 95%; ε = Es el error aleatorio que se está dispuesto a asumir en esta investigación. Después de realizar varias pruebas con valores distintos del error, se define este error en $\varepsilon = 0.49$ minutos. Con los tres elementos de la fórmula (2), identificados se obtiene un tamaño de muestra de

$$n = 29.75 \approx 30.$$

Se procedió a la toma de tiempo de fregado en los tres hogares utilizando cronómetro de celular. Se realizan 30 mediciones, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempo del fregado medido con cronómetro

Tiempo en minutos		
7.15	5.43	10.42
6.48	4.25	9.20
9.41	3.30	10.38
3.12	7.11	8.23
8.35	6.56	7.26
7.53	8.20	7.29
7.03	9.13	6.25
7.49	6.27	10.26
8.58	8.16	9.15
8.12	7.24	6.19

Los resultados de las mediciones permitieron calcular el tiempo promedio de fregado, de la muestra mediante la relación (3) [7].

$$\overline{X} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{3}$$

Con \overline{X} se generará un intervalo de confianza para ' μ ' verdadera medida del tiempo de fregado la relación (4) [7].

$$\overline{x} \pm \left(Z_{\alpha/2} \right) \sigma_x \tag{4}$$

En donde:
 $Z_{\alpha/2}$: Para 95% de confianza de la estimación = 1.96
 σ_x : Error típico de la población. Se calcula a partir de la relación (5) [8].

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \tag{5}$$

En donde:
 σ_x : Desviación típica poblacional que corresponde a la raíz cuadrada de la varianza, σ_x^2 estimada.

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{1.8947}}{30} = 0.04545$$

Para el cálculo de la generación total de agua se procedió a evaluar un sector geográfico de la provincia de Herrera, distrito de Chitré específicamente la Barriada Villa Dorada cuya ubicación es 7°58'23"N 80°26'56"W, como se observa en la figura 1.



Figura 1. Vista del sector geográfico analizado.
Fuente: Google Earth.

Se realizó una revisión bibliográfica de diferentes alternativas para el tratamiento de aguas grises en los hogares,

se seleccionaron dos y se procedió a realizar una estimación del costo de instalación de estos sistemas para un hogar promedio. También se propone una alternativa comunitaria para el manejo de estas aguas.

3. Resultados y discusión

3.1 Estimación del consumo de aguas grises

En la tabla 3 se muestra la generación total de agua en el baño (ducha) el cual ha resultado en 540 litros/día, este representa el mayor porcentaje generado.

Tabla 3. Estimación de la generación de agua en el baño, para un hogar promedio de 3 personas, en litros/día

Descripción	Personas por hogar	Duchas al día	Tiempo de ducha (min)	Agua gris (litros/min)	Total (litros/día)
Baño (ducha)	3	2	10	9	540

En la tabla 4 a la tabla 6, se presentan los resultados para la generación de agua en el lavamanos en diferentes actividades (cepillado de dientes, lavado de manos/cara, afeitado). En la tabla 4 se obtiene la generación total de agua en el proceso de cepillado de dientes de 36 litros/día.

Tabla 4. Estimación de la generación de agua en el lavamanos para el proceso de cepillado de dientes, para un hogar promedio de 3 personas, en litros/día

Descripción	Personas	Cepilladas al día	Agua gris (litros/cepillada)	Total (litros/día)
Cepillado de dientes	3	3	4	36

En la tabla 5 se ha calculado la generación total de agua en el proceso de lavado de manos de 60 litros/día.

Tabla 5. Estimación de la generación de agua en el lavamanos para el proceso de lavado de manos, para un hogar promedio de 3 personas, en litros/día

Descripción	Personas	Lavada de manos al día	Agua gris (litros/lavada)	Total (litros/día)
Lavado de manos	3	5	4	60

Se procede a calcular el volumen de agua en el lavamanos para el proceso de lavado de cara, resultando en 36 litros/día como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Estimación de la generación de agua en el lavamanos para el proceso de lavado de cara, para un hogar promedio de 3 personas, en litros/día

Descripción	Personas	Lavado de cara al día	Agua gris (litros/lavada)	Total (litros/día)
Lavado de cara	3	3	4	36

En la tabla 7 obtenemos una generación total de 4 litros/día para el proceso de afeitado de cara, suponiendo que una persona en el hogar realiza una afeitada por día.

Tabla 7. Estimación de volumen generado de agua en el lavamanos para el proceso de afeitado de cara, para un hogar promedio de 3 personas, en litros/día

Descripción	Personas	Afeitadas al día	Agua gris (litros/afeitada)	Total (litros/día)
Afeitarse la cara	1	1	4	4

Para el cálculo de la generación total de agua, por día, para el proceso de lavado, se utiliza, según lo presentado en la tabla 1, una capacidad de lavado de 7 kg/carga por semana. En la tabla 8 obtenemos una generación total de 13.57 litros/día en el proceso de lavado de ropa.

Tabla 8. Estimación de la generación de agua para el proceso de lavado de ropa, capacidad de lavadora de 7 kg/carga por semana, en litros/día

Descripción	Lavado al día	Agua gris (7 kg/carga) (litros/carga)	Total (litros/día)
Lavado de ropa	1 lavada/semana Fracción diaria 1/7 lavados/día	95	13.57

En relación con la generación de agua en el proceso de fregado, y aplicando los pasos presentados en la metodología se calcula \bar{X} , tiempo promedio de lavado para la muestra de 30 mediciones realizadas. Este valor ha resultado en, $\bar{X} = 7.5513$ min. Con este valor se procede a estimar un intervalo de confianza para ' μ ', verdadera media del tiempo de fregado a partir de la relación (4). Este intervalo ha resultado en: 7.46 a 7.64 minutos.

Para cualquiera de estos valores dentro de este intervalo existe 95% de confianza de que el verdadero tiempo de fregado se encuentre en él. Para ser conservadores, se escogerá el tiempo del extremo superior, o sea: $\mu = 7.64$ min. Con este

valor se procede a calcular el consumo total del agua en el proceso de fregado como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Estimación de la generación de agua en el proceso de fregado, suponiendo tres (3) fregados al día, en litros/día

Descripción	Fregadas	Tiempo de fregado (min)	Agua gris (litros/min)	Total (litros/día)
Fregado	3	7.64	5	343.80

Luego de la obtención de la generación total diario en cada punto del hogar, se procedió a calcular la estimación mensual y anual de la generación de aguas grises en un hogar promedio de tres personas, cuyos resultados se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Estimación del volumen de aguas grises que se genera en un hogar promedio de 3 personas, según periodo, en litros

	Generación diaria (litros/día)	Generación mensual (litros/mes)	Generación anual (litros/año)
Baño (ducha)	540	16 200	194 400
Cepillarse los dientes	36	1 080	12 960
Lavado de manos	60	1 800	21 600
Lavado de cara	36	1 080	12 960
Afeitarse la cara	4	120	1 440
Lavadora	13.57	407.10	4 885.20
Fregador	343.80	10 314	123 768
Total	1 033.37	31 001.10	372 013.20

De acuerdo con los datos que se muestran en la tabla 10 se aprecia que el baño (ducha) es el punto en donde la generación de agua es más elevado representado un 52% del agua gris total de un hogar, como se muestra en la figura 2. Igualmente, podemos observar que el proceso de fregado representa una proporción importante, 33% y sólo estas dos actividades representan el 85% de la generación total de aguas grises.

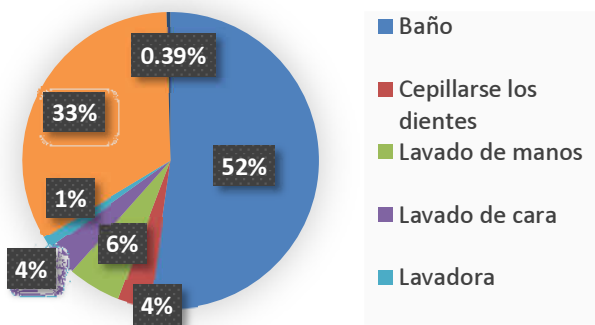


Figura 2. Proporción de la generación anual de aguas grises en un hogar.

Dado que en un hogar promedio se genera aproximadamente 372 013.20 litros de aguas grises anualmente y teniendo en cuenta que el precio establecido en la República de Panamá es de \$0.0002 por cada litro de agua en el interior del país [9], el gasto anual por vivienda relacionado a las aguas grises es de 69.72 \$/año. Por ende, el gasto anual para el sector geográfico analizado que consta con 110 casas representa 7 669.20 \$/año. Si se realizara una reutilización del 100% de las aguas grises en esta comunidad, este costo anual representa lo que deja de ahorrar la misma, anualmente, cuando no se realiza esfuerzos de reutilización.

3.2 Estimación de costos de alternativas de sistemas de reutilización de aguas grises

Según el punto c de la metodología, la revisión de referencias arrojó dos alternativas de reutilización:

La primera alternativa para un sistema de tratamiento de aguas grises propone la construcción de tres tanques: una trampa de grasas, un filtro lento de arena y un sistema recolector; estos estarán unidos mediante tuberías, como se observa en la figura 3. La trampa de grasa se utiliza para la eliminación de grasas, aceites, espumas y materias flotantes más ligeros que el agua. El filtro lento de arena permite la eliminación de bacterias y virus; donde las impurezas entran en contactos con los granos de arena y son retenidos por estos. Luego, el agua se dirige hacia el sistema recolector que cumple la función de almacenar el agua tratada para darle su uso particular [3].

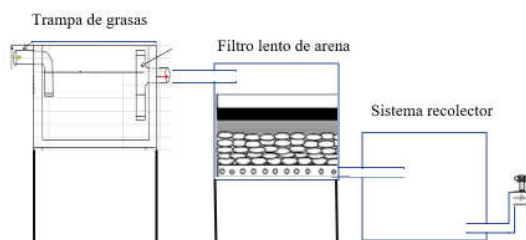


Figura 3. Sistema mecánico de tratamiento de aguas grises

Fuente: Universidad Técnica de Cotopaxi [3].

La segunda alternativa da como propuesta la creación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares. Sabiendo que el caudal de aguas grises en la vivienda tiene un valor de $0.75 \text{ m}^3/\text{día}$ se puede crear el sistema hidráulico con una caja de pre-recolección que unida a un sistema de bombeo envíe el agua gris a un tanque de sedimentación en donde se ingresa el agua por la parte superior y con accesorios hidráulicos para atrapar grasa y tuberías de ventilación se controla el flujo de agua gris que pasa al sistema de filtración. En este segundo tanque se tiene la finalidad de filtrar toda el agua proveniente del primer tanque, esto gracias al uso de capas con el uso de diferentes minerales como el carbón artesanal, arena, gravilla, piedra chancada y grava, se limpia el agua en casi 90% para luego pasarla por tuberías a un tercer tanque que vendría siendo el de almacenamiento. La principal función de este último tanque es almacenar el agua proveniente del sistema de filtración y envía esta agua al lugar donde tenemos como finalidad que llegue el agua ya tratada y limpiada, como se muestra en la figura 4 [10].

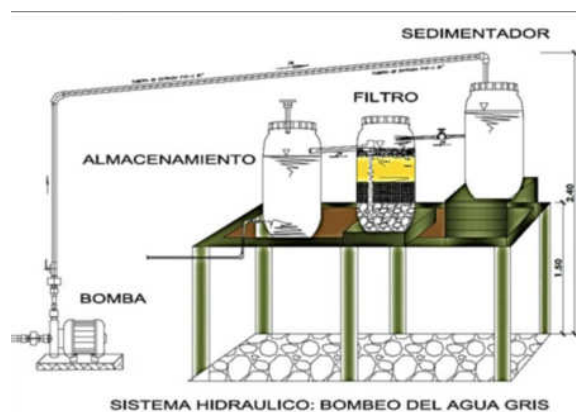


Figura 4. Sistema de hidráulico de reutilización de las aguas grises.

Fuente: Universidad Nacional de Tumbes, Perú [10].

En la tabla 11 se muestra la estimación de costos realizada en el mercado local para ambas alternativas.

Tabla 11. Estimación de costos para las dos alternativas evaluadas, según tipo

Tipo de costo	Primera alternativa	Segunda alternativa
Materiales	\$476.96	\$848.51
Mano de obra	\$165.00	\$120.00
Total	\$641.96	\$968.51

Fuente: Cotizado en mercado local.

La primera alternativa tiene un costo aproximado de \$641.96. La segunda alternativa para el sistema de reutilización tiene un costo aproximado de \$968.51.

3.3 Alternativa ecológica de sistema de reutilización de aguas grises

Se propone un sistema ecológico de tratamiento de aguas grises para el sector geográfico analizado; el mismo no requiere de instalaciones complejas, ni un costo de mantenimiento alto y se integra fácilmente en el paisaje natural, nos referimos a los humedales artificiales los cuales son sistemas de fitodepuración que incluye un sustrato diseñado para dar soporte a la vegetación y permitir la fijación de poblaciones microbianas, lo que permite el proceso de eliminación de contaminantes en el agua a tratar. Además, cuenta con plantas acuáticas (macrófitas) que proporcionan una superficie para la formación de membranas bacterianas, promueven la filtración y ayudan a la oxigenación del sustrato y la remoción de nutrientes, como se muestra en la figura 5 [11].

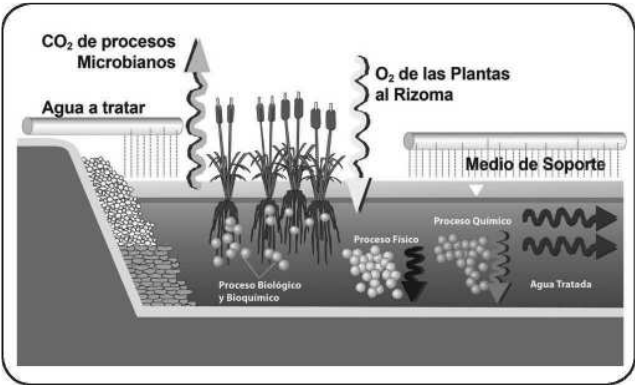


Figura 5. Sistema de humedales artificiales.
Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Bolivia [11].

3.4 Reutilización de las aguas grises

Las aguas grises representan generalmente el 65-100% de las aguas residuales originadas en un hogar [12]. Tomando como referencia el punto 3.2 sobre las alternativas de sistemas de reutilización de aguas grises, estos sistemas son una opción eficiente para el riego de jardines, la limpieza de calle y el llenado de los tanques de los inodoros entre otros usos. Si la reutilización fuera para la descarga de un inodoro convencional, su consumo de agua es de aproximadamente 10-12 litros por descarga [4].

En la tabla 12 se ha realizado una estimación del volumen de agua que consume, sólo, un inodoro suponiendo un hogar de 3 personas.

Tabla 12. Estimación de la generación de agua en un inodoro				
Descripción	Descargas al día	Personas	Consumo de agua (litros/des carga)	Total (litros/día)
Inodoro	8	3	11	264

Este volumen de 264 litros/día representa aproximadamente el 26% de las aguas grises que se pudieran coleccionar diariamente y el resto podría ser para los otros usos mencionados.

4. Conclusiones

Esta investigación nos muestra la generación de aguas grises en un hogar y se observó que, el baño (ducha), es el punto donde la generación de agua es mayor con un 52%, luego, el proceso de fregado con 33%, representando estas dos actividades, el 85% de la generación total la cual corresponde a un volumen de 372 013.20 litros/año. Lo anterior nos permite evaluar la importancia del ahorro del agua, a fin de fomentar la utilización de sistemas de reutilización para familias individuales o para comunidades enteras.

Esta investigación ofreció la oportunidad de proponer tres alternativas para reutilizar las aguas grises, con el fin de minimizar el consumo de agua potable. Consideramos que la alternativa de los humedales se presenta como una buena oportunidad de crear una política pública capaz de orientar a las autoridades con el fin de incorporar estos modelos de reutilización de agua para el beneficio medio ambiental de las comunidades.

REFERENCIAS

[1] C. A. Villarreal, "Importancia del recurso agua para el consumo doméstico en el distrito de La Chorrera de la República de Panamá", *Tecnociencia*, vol. 22, n.o 2, Art. n.o 2, jul. 2020.

[2] G. C. Nagua Caiminagua, "Recuperación de aguas residuales grises mediante biofiltros", Universidad Técnica de Cotopaxi, 2016.

[3] M. R. Armas Solís, "Estudio para la reutilización de aguas grises producidas en el hogar, como agua de regadío en la casa prototipo del barrio Chan, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi, 2015", Universidad Técnica de Cotopaxi, 2015.

[4] M. Castro Montilla, "Un uso eficiente del agua doméstica : tratamiento de las aguas grises", Universidad de Sevilla, 2015.

[5] J. L. Burbano Zambrano, "Análisis de la reutilización de las aguas grises en edificaciones domiciliarias", Universidad de Especialidades Espíritu Santo, 2015.

[6] I. Kunitsuka, "¿Cuánta agua consumes realmente por día?", *Volvamos a la fuente*, ago. 12, 2015. <https://blogs.iadb.org/agua/es/cuanta-agua-consumes-realmente-por-dia/> (accedido ene. 30, 2021).

[7] H. L. Solano y C. R. Álvarez, *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*, 1.a ed. Editorial Universidad del Norte, 2017.

[8] J. M. C. Sánchez, C. S. Figueroa, y P. C. Vázquez, *Inferencia estadística para Economía*. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA, 2018.

[9] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, "Desglose de las tarifas los prestadores del servicio de agua potable y alcantarillado sanitario". 2010, Accedido: ene. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/?page_id=14202.

- [10] Y. Azabache, K. Rojas, S. Irigoín, R. Rodríguez, y B. Quispe, “Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares”, *Manglar*, vol. 17, n.o 2, Art. n.o 2, jun. 2020, doi: 10.17268/manglar.2020.026.
- [11] A. C. Rowan, C. Z. Irala, y C. Q. Zamora, “Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia.”, *Diseño Tecnol. Para El Desarro.*, vol. 0, n.o 5, Art. n.o 5, may 2018.
- [12] J. Suárez-López, J.-A. Jacome-Burgos, H. del R. Cambeses, D. T. Sánchez, y P. U. Rodríguez, “El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural”, en *Río Mandeo, cuenca fluvial y desarrollo sostenible*, 2012, ISBN 978-84-9812-174-2, págs. 265-284, 2012, pp. 265-284, Accedido: ene. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4013444>.